昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，August 2006，49(4)：556 - 561 ISSN 0454-6296

斑点野生稻拒食活性组分的分离及其对斜纹夜蛾消化酶活性的影响

冯国忠[1]，万树青[1*]，潘大建[2]
(1. 华南农业大学昆虫毒理研究室，广州 510642；2. 广东省农业科学院水稻研究所，广州 510640)

摘要：为了进一步评估斑点野生稻 *Oryza punctata* 的抗虫性，采用液-液分配萃取和硅胶柱层析的方法，从斑点野生稻甲醇提取物中分离获得石油醚、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇和水的萃取物，测定了其对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 3 龄幼虫拒食活性。结果显示，氯仿萃取物比其他 4 种萃取物具有更高的拒食活性，在 2.5 mg/mL 的浓度下，24 h 和 48 h 的拒食率分别为 55.62%和 52.66%。氯仿萃取物经硅胶柱层析后，得到 14 个组分。比较 14 个组分的拒食活性，发现组分 4 和 10 为主要的活性组分。这两个组分对斜纹夜蛾幼虫中肠脂肪酶和 α-淀粉酶的活性都具有一定的抑制活性，其中组分 10 对脂肪酶具有显著的抑制效果，以 1 mg/mL 的浓度活体处理 48 h 和 72 h 抑制率分别达 19.82%和 34.60%；对 α-淀粉酶的影响在 48 h 和 72 h 内都具有显著的抑制效果，随着处理时间的延长，其抑制率逐步提高，72 h 的抑制率分别为 25.06%和 27.40%。结果提示斜纹夜蛾幼虫中肠脂肪酶和 α-淀粉酶可能是斑点野生稻拒食活性成分的作用靶标。

关键词：斑点野生稻；斜纹夜蛾；拒食活性成分；脂肪酶；α-淀粉酶
中图分类号：Q965 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2006)04-0556-06

Isolation of antifeeding components from wild rice *Oryza punctata* and their effect on digestive enzymes of *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)

FENG Guo-Zhong[1], WAN Shu-Qing[1*], PAN Da-Jian[2] (1. Laboratory of Insect Toxicology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Institute of Rice Research, Guangzhou Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: For evaluating the insect resistance property of a wild rice *Oryza punctata*, five extracts of the wild rice plants with petroleum ether, chloroform, ethyl acetate, n-butanol and water were tested for their antifeedant activity against *Spodoptera litura* larvae. The results showed that chloroform extract was the most effective one among the five extracts. In 24 h and 48 h of treatment, the antifeedant rate of the chloroform extract against 3rd instar larvae of *S. litura* at 2.5 mg/mL was 55.62% and 52.66%, respectively. The chloroform extract was further separated through silica gel column and the fractions were monitored with analytical thin layer chromatography (TLC). Fourteen fractions were obtained and also tested for their antifeedant activity against *S. litura* larvae. The bioassay results showed that fraction 4 and 10 at 1 mg/mL had higher antifeedant activity to 3rd instar larvae of *S. litura* than other fractions. The antifeedant rate of fraction 4 was 56.01% in 24 h of treatment and 38.06% in 48 h of treatment, while that of fraction 10 was 51.56% in 24 h of treatment and 64.30% in 48 h of treatment. The inhibiting activity of the two fractions against two digestive enzymes lipase and α-amylase from the midgut of *S. litura* was tested. The results showed that the activity of both enzymes was inhibited effectively by the two fractions. The inhibiting rates of fraction 4 and 10 at 1 mg/mL against α-amylase activity of 3rd instar larvae of *S. litura* were 25.06% and

---

基金项目：国家自然科学基金项目(30170097)
作者简介：冯国忠，男，1977 年生，硕士研究生，研究方向为昆虫毒理学，E-mail：Fgz9703@sohu.com
* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.：(020)85285813；E-mail：wanshuqing1953@yahoo.com.cn
收稿日期 Received：2005-08-17；接受日期 Accepted：2005-12-05

27.40% in 72 h of treatment, respectively. Fraction 10 could inhibit the activity of lipase of 3rd instar larvae of *S. litura* significantly, with the inhibiting rate 19.82% in 48 h of treatment and 34.60% in 72 h of treatment, respectively. The results of assay suggested that the digestive enzymes of the midgut of *S. litura* might be the action targets of the active ingredients from *O. punctata*.

Key words: *Oryza punctata*; *Spodoptera litura*; antifeeding component; lipase; α-amylase

野生稻是栽培稻的祖先(丁颖,1957),是宝贵的自然资源,属国家二级保护植物物种。在全球已发现的 20 个野生稻物种中,我国自然分布有普通野生稻 *Oryza rufipogon*、药用野生稻 *O. officinalis* 和疣粒野生稻 *O. meyeriana*(全国野生稻资源考察协作组,1984)。由于野生稻具有许多的优良性状,已经成为栽培稻遗传改良的亲本和优质基因的来源;同时,大多数野生稻具有抗虫特性,也引起了植物遗传育种和昆虫毒理研究者的高度重视。据报道,广西药用野生稻对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 有很强的抗性,在供试的 76 份野生稻样品上饲养的初孵若虫死亡率明显高于在栽培稻上饲养的若虫死亡率,成虫的羽化率明显低于用栽培稻饲养的成虫羽化率;在野生稻上饲养的初羽化成虫,绝大多数卵巢不发育,不能产卵(吴妙燊,1990)。广东澄海县的普通野生稻对三化螟 *Tryporyza incertulas* 和褐飞虱有明显的抗性,在分蘖期和整个苗期三化螟和褐飞虱很少在其上危害(谭玉娟,1993)。冯国忠等(2004)在比较了 6 种野生稻的抗虫性后发现,除了药用野生稻的甲醇提取物对几种非水稻寄生害虫,如斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、菜粉蝶 *Pieris rapae*、小菜蛾 *Plutella xylostella*、绣线菊蚜 *Aphis citricola* 和柑桔全爪螨 *Panonychus citri* 具有拒食、忌避和生长发育抑制活性外,斑点野生稻 *Oryza punctata* 的提取物比其他受试的野生稻也表现出更强的拒食活性。为了进一步阐明斑点野生稻的抗虫性,本文作者主要开展了拒食活性成分的分离、提纯以及作用机理的初步研究,为寻找新的昆虫拒食活性物质,为合理利用野生稻资源提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　材料

斑点野生稻由广东省农业科学院水稻研究所国家种质野生稻圃提供,选择植株的地上部分作为实验材料。

斜纹夜蛾经人工饲养的种群,由中山大学生物防治国家重点实验室提供。

1.2　拒食活性组分的提取、分离与活性测定

将采集的斑点野生稻洗净,晾干或烘干(60℃),粉碎,过 40 目筛,采用索氏(Sohxlet)提取法,得到甲醇提取物;采用液-液分配萃取,分别得到石油醚、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇和水层萃取物,并参考慕立义(1994)的方法,测定各萃取物对试虫的拒食活性,方法如下:选取新鲜洁净木薯叶,用圆形打孔器(直径为 1 cm)打出叶碟。各组分用蒸馏水配制成所需浓度的溶液(用不超过 1% 的丙酮和吐温-80 助溶),对照为不加药剂的溶液。将叶碟在供试药剂中浸 3 s后取出,放在清洁的台面上自然晾干,然后将叶碟置于垫有保湿滤纸的培养皿中,培养皿的直径为 9 cm。每皿 3 片叶碟,饥饿 4 h 的 3 龄斜纹夜蛾幼虫 1 头,每个浓度设 10 个重复。处理完毕后将培养皿置于养虫室中,温度为 25 ± 1℃。24 h 和 48 h 用叶面积测量仪调查取食情况,计算拒食率。

采用硅胶吸附柱层析的方法,流动相为石油醚:丙酮溶剂,按不同的比例进行洗脱,得到氯仿萃取物流分,经硅胶板(青岛海洋化工厂生产)薄层层析,碘显色,将显色点相同的流分合并,得到 14 个组分并测定其拒食活性,以确定活性组分。

1.3　消化酶活性抑制作用测定

1.3.1　脂肪酶抑制活性测定

:甘油三酯标准曲线制作参考西北农业大学(1986)的方法。试虫处理与中肠组织消化酶的制备和测定主要参考陈长琨(1993)的方法。药液配制:将待测组分用少量丙酮(低于 1%)溶解,滴加吐温-80 乳化,加蒸馏水配制成所测浓度的药液。将药液均匀涂布在饲养斜纹夜蛾的薄层人工饲料上,放入培养皿中,接入蜕皮约 1 h的 3 龄斜纹夜蛾幼虫,每皿 8 头,每隔 24 h 更换滤纸,并用药液重新处理新鲜饲料。每处理 10 个重复。分别在 24 h、48 h 和 72 h 随机挑取试虫(约 10 头)解剖中肠,洗净,匀浆,加蒸馏水稀释到 1.5 mL,摇匀。取匀浆液 0.25 mL,加蒸馏水 0.75 mL 和蛋白试剂 5 mL,摇匀,30℃静置 2 min 后,于 595 nm 波长处测定 OD 值。每个样品测 3 次。对照蛋白质标准曲线,确定蛋白质含量。

酶活力测定:取 A、B 两支试管,各依次加入橄

榄油乳剂 2.5 mL，Tris-HCl 缓冲液(pH 8.8)1.5 mL，酶液 0.5 mL，立即盖上帽子，颠倒摇匀 5 次。对 A 管立即在 420 nm 处测 OD 值；B 管在 30℃水浴中温育 30 min 后，在 420 nm 处测 OD 值，根据 A、B 管 OD 值之差，计算比活力(以 μmol·mg^{-1}·min^{-1}表示)。

1.3.2 α-淀粉酶抑制活性的测定：试虫处理和酶源制备与脂肪酶测定相同，麦芽糖标准曲线制作和 α-淀粉酶活力的测定参照 Guibault (1983)以及杨东升和张金桐(2002)的方法，采用 3,5-二硝基水杨酸试剂测定酶液水解淀粉成麦芽糖的量，测定试虫中肠 α-淀粉酶活力。

酶活力测定：取 A、B 两支试管，分别加入 1 mL 酶液和 1 mL 磷酸缓冲液(pH 8.0，0.02 mol/L)，在 A 管中加入 2 mL 1%淀粉酶溶液，30℃水浴中温育 20 min，加入 4 mL 0.4 mol/L NaOH；在 B 管中先加入 4 mL 0.4 mol/L NaOH，摇匀后加入 2 mL 1%淀粉液，在 30℃水浴中温育 20 min。在 A、B 两支试管中各取反应混合液 1 mL，按标准曲线制作方法测定 OD 值，根据 A、B 管 OD 值之差，求比活力(以 mg·mg^{-1}·min^{-1}表示)。

根据所测各种处理的酶活力，计算酶活性抑制率。酶活性抑制率(%)=(对照酶比活力－处理酶比活力)/ 对照酶比活力 × 100。

1.4 数据统计分析

采用 SAS V8.1 分析整理数据，对实验结果采用邓肯氏新复极差多重比较法(Duncan 's multiple range test，DMRT)进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同萃取物对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的拒食活性

将根据液-液分配法所得到的各萃取物配成浓度为 2.5 mg/mL，分别测定其对 3 龄斜纹夜蛾幼虫的拒食活性(表 1)。结果表明，与其他受试的萃取物比较，氯仿萃取物的拒食活性最高，24 h 和 48 h 的拒食率分别为 55.62%和 52.66%。

表 1 不同处理时间斑点野生稻不同萃取物对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的拒食活性

Table 1 Antifeedant activity of extracts from wild rice *Oryza punctata* to 3rd instar larvae of *Spodoptera litura* in different duration of treatment

处理 Treatment	24 h		48 h	
	取食面积 Fed area (mm^2) ($\bar{x}$ ± *SE*)	拒食率(%) Antifeedant rate	取食面积 Fed area (mm^2) ($\bar{x}$ ± *SE*)	拒食率(%) Antifeedant rate
石油醚层 Petroleum ether	56.52 ± 7.27 ab	19.63	159.65 ± 10.08 b	40.27
氯仿层 Chloroform	31.20 ± 7.93 c	55.62	126.51 ± 7.16 b	52.66
乙酸乙酯层 Ethyl acetate	59.87 ± 7.95 ab	14.93	230.90 ± 15.07 a	13.59
正丁醇层 n-butanol	49.23 ± 5.54 bc	31.00	245.43 ± 21.07 a	8.16
水层 Water	57.54 ± 6.71 ab	18.20	240.65 ± 12.44 a	9.96
对照 CK	70.32 ± 5.77 a		267.24 ± 22.43 a	

注：同列数据后标有相同字母者表示经方差分析(DMRT 法)在 5%水平上无显著差异。下同。

Note: Data in a column with the same letter show no significant difference (P = 0.05) (DMRT). The same for the following tables.

2.2 不同组分对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的拒食活性

将氯仿萃取物进行硅胶柱层析，流动相采用合并 Rf 值相同的流分，获得 14 个组分，将各组分配制成浓度为 1 mg/mL 的溶液，分别测定其对 3 龄斜纹夜蛾幼虫的拒食活性。结果表明，在 14 个组分中，组分 10 的拒食活性最高，24 h 和 48 h 拒食率分别为 51.56%和 64.30%。组分 4 的拒食活性次之，24 h 的拒食率为 56.01%，48 h 的拒食率为 38.06%(表 2)。

2.3 组分 4 和 10 对斜纹夜蛾 3 龄幼虫脂肪酶活力的影响

组分 4 和 10 处理 24 h、48 h 和 72 h 对斜纹夜蛾 3 龄幼虫中肠脂肪酶活力的影响见表 3。处理 24 h 后，对照、组分 4 和 10 处理的酶的比活力分别为 0.6064、0.5285 和 0.4618 μmol·mg^{-1}·min^{-1}。经方差分析，它们之间差异不显著，酶活性抑制率分别为 12.85%和 14.46%。48 h 后，对照、组分 4 和 10 处理的酶的比活力分别为 0.6498、0.5619 和

0.5210 μmol·mg⁻¹·min⁻¹。经方差分析，组分 10 处理的试虫酶比活力与对照存在显著性差异，表明组分 10 对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的脂肪酶活力具有一定的影响。酶活性抑制率为 19.82%。72 h 后，对照、组分 4 和 10 处理的酶比活力分别为 0.5358、0.4645 和 0.3504 μmol·mg⁻¹·min⁻¹。方差分析表明，组分 10 处理的试虫酶比活力与对照存在显著性差异，酶活性抑制率 34.60%。表明组分 10 对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的脂肪酶活力有一定影响。

表 2 不同处理时间斑点野生稻氯仿萃取物各组分对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的拒食活性

Table 2 Antifeedant activity of 14 fractions of the chloroform extract from wild rice *Oryza punctata* to 3rd instar larvae of *Spodoptera litura* in different duration of treatment

组分编号 Fraction no.	24 h		48 h	
	取食面积 Fed area (mm^2) ($\bar{x} \pm SE$)	拒食率(%) Antifeedant rate	取食面积 Fed area (mm^2) ($\bar{x} \pm SE$)	拒食率(%) Antifeedant rate
1	112.78 ± 15.37 ab	20.24	273.90 ± 15.05 ab	15.85
2	118.80 ± 10.14 ab	15.98	274.80 ± 23.54 ab	15.58
3	103.10 ± 12.08 abc	27.09	241.40 ± 16.95 bcd	25.84
4	62.20 ± 13.59 d	56.01	201.60 ± 22.26 d	38.06
5	105.00 ± 12.24 abc	25.74	274.50 ± 21.04 ab	15.67
6	90.40 ± 12.73 bcd	36.07	259.60 ± 13.43 bc	20.25
7	94.30 ± 16.61 bcd	33.31	234.20 ± 13.63 bcd	28.05
8	104.78 ± 8.12 ab	25.90	275.80 ± 12.56 ab	15.27
9	112.20 ± 9.53 ab	20.65	200.10 ± 8.84 d	38.53
10	68.50 ± 11.87 cd	51.56	116.20 ± 16.20 e	64.30
11	98.10 ± 9.01 bcd	30.62	266.70 ± 18.91 b	18.06
12	102.70 ± 13.55 abc	27.37	206.40 ± 16.99 cd	36.59
13	124.90 ± 8.52 ab	11.67	254.90 ± 11.78 bcd	21.69
14	105.40 ± 12.90 abc	25.46	260.20 ± 19.05 bc	20.06
对照 CK	141.40 ± 10.33 a	–	325.50 ± 27.66 a	–

表 3 不同处理时间斑点野生稻氯仿萃取物组分 4 和 10 对斜纹夜蛾 3 龄幼虫脂肪酶活力的影响

Table 3 Effect of fraction 4 and 10 of the chloroform extract from wild rice *Oryza punctata* on activity of lipase on 3rd instar larvae of *Spodoptera litura* in different duration of treatment

组分编号 Fraction no.	24 h		48 h		72 h	
	比活力 Specific activity (μmol·mg⁻¹·min⁻¹) ($\bar{x} \pm SE$)	抑制率(%) Inhibiting rate	比活力 Specific activity (μmol·mg⁻¹·min⁻¹) ($\bar{x} \pm SE$)	抑制率(%) Inhibiting rate	比活力 Specific activity (μmol·mg⁻¹·min⁻¹) ($\bar{x} \pm SE$)	抑制率(%) Inhibiting rate
对照 CK	0.6064 ± 0.0295 a		0.6498 ± 0.0382 a		0.5358 ± 0.0211 a	
4	0.5285 ± 0.0231 a	12.85	0.5619 ± 0.0195 ab	13.53	0.4645 ± 0.0470 a	13.31
10	0.4618 ± 0.1319 a	14.46	0.5210 ± 0.0102 b	19.82	0.3504 ± 0.0140 b	34.60

2.4 组分 4 和 10 对斜纹夜蛾 3 龄幼虫 α-淀粉酶活力的影响

组分 4 和 10 以 1 mg/mL 浓度处理斜纹夜蛾 3 龄幼虫，24 h、48 h 和 72 h 后对中肠 α-淀粉酶活力的影响见表 4。处理 24 h 后，对照、组分 4 和 10 处理的试虫酶比活力分别为 0.2348、0.2084 和 0.2308 mg·mg⁻¹·min⁻¹。方差分析表明，组分 4 处理的试虫酶比活力与对照比差异显著，而组分 10 与对照差异不显著。两种组分的抑制率分别为 11.24% 和 1.70%。48 h，对照、组分 4 和 10 处理的试虫酶比活力分别为 0.1856、0.1664 和 0.1402 mg·mg⁻¹·min⁻¹，方差分析表明，组分 4 和 10 处理后试虫酶活力与对照比差异显著，抑制率分别为 10.34% 和 24.46%。72 h，对照、组分 4 和 10 处理的试虫酶活力分别为 0.2701、0.2024 和 0.1961 mg·mg⁻¹·min⁻¹。经方差分析均与对照存在显著差异，抑制率分别为 25.06%和 27.40%。经组分 4 和 10 处理的试虫，酶的比活力均低于对照试虫，随着时间的延长，组分 4 和 10 对 4 龄斜纹夜蛾幼虫中肠 α-淀粉酶活力抑制作用呈逐渐增强的趋势。

表 4 不同处理时间斑点野生稻氯仿萃取物组分 4 和 10 对斜纹夜蛾 3 龄幼虫 α-淀粉酶活力的影响

Table 4 Effect of fraction 4 and 10 of the chloroform extract from wild rice *Oryza punctata* to activity of α-amylase on 3rd instar larvae of *Spodoptera litura* in different duration of treatment

组分编号 Fraction no.	24 h		48 h		72 h	
	比活力 Specific activity (mg·mg^{-1}·min^{-1}) ($\bar{x} \pm SE$)	抑制率(%) Inhibiting rate	比活力 Specific activity (mg·mg^{-1}·min^{-1}) ($\bar{x} \pm SE$)	抑制率(%) Inhibiting rate	比活力 Specific activity (mg·mg^{-1}·min^{-1}) ($\bar{x} \pm SE$)	抑制率(%) Inhibiting rate
对照 CK	0.2348 ± 0.0026 a		0.1856 ± 0.0053 a		0.2701 ± 0.0016 a	
4	0.2084 ± 0.0085 b	11.24	0.1664 ± 0.0043 b	10.34	0.2024 ± 0.0011 b	25.06
10	0.2308 ± 0.0091 ab	1.70	0.1402 ± 0.0047 c	24.46	0.1961 ± 0.0032 b	27.40

3 讨论

3.1 斑点野生稻抗虫活性物质

植食性昆虫对寄主植物的选择是由于不同植物中含有不同的次生物质所造成,这些物质一般有防御昆虫取食的作用,引起他们离弃植物或拒绝取食。当昆虫对某些次生物质不能适应时,便不以含有这种成分的植物为食。从植物中分离出来的次生物质多数对昆虫会引起拒食作用(钦俊德,1987)。次生物质对昆虫作用性质,方式和强度上的差异,是决定植物不同抗性水平的重要化学基础(王琛柱等,1993)。对昆虫有拒食作用的植物次生代谢物质包括生物碱、酚类和萜类等化合物。通过对斑点野生稻拒食活性物质的分离,表明它主要存在于氯仿溶剂中,具有脂溶性的特性,不同于已报道的非蛋白氨基酸和草酸(肖汉祥和张良佑,2001)。本实验测定的组分 4 和 10 在薄层层析分别显示 2 个和 4 个着色点,它们的 Rf 值分别为 0.4377、0.2736 和 0.3933、0.2933、0.2133、0.1733。表明所检测的两个活性组分,还需进一步的分离提纯,这样才有可能确定斑点野生稻中的抗虫活性物质,这将是我们下一步研究的内容。

3.2 斑点野生稻抗虫作用方式与毒理机制的探讨

在稻属 22 个种中,除 2 种为栽培稻种外,其他为野生稻种(Vaughan,1994)。野生稻长期处于野生环境中,经受了各种不良环境的自然选择,产生了不同程度的抗逆性。Vaughan (1994)及 Velusamy (1995)的研究发现,60%的野生稻种具有抗虫特性,对大多数水稻害虫具有抗生性,表现为拒食、忌避、毒杀和生长发育抑制作用。斑点野生稻分布在非洲,我国已引种,现已在部分研究机构开展研究。Vaughan(1994)研究结果表明,斑点野生稻具有抗褐飞虱和白背飞虱的能力,主要表现为对飞虱的行为干扰,引起拒食和驱避效应。有关斑点野生稻抗虫的毒理机制未见报道,本研究发现,斑点野生稻对斜纹夜蛾幼虫的拒食作用是与其内含有抑制具有消化作用的脂肪酶和 α-淀粉酶活力有关,对其他的昆虫,如菜粉蝶幼虫的测定也表现出对这两种消化酶的抑制活性(待发表),这样就必然会干扰昆虫对食物降解和营养物质的吸收,减少昆虫取食量,继而影响正常的生长与发育。

参 考 文 献 (References)

Chen CK, 1993. Experiment Handbook of Insect Physiology and Biochemistry. Beijing: China Agriculture Press. 15 – 25. [陈长琨, 1993. 昆虫生理生化实验. 北京:中国农业出版社. 15 – 25]

Cooperative Group for Survey of Wild Rice Resource in China, 1984. Survey and inspection of wild rice resource in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 4: 27 – 34. [全国野生稻资源考察协作组, 1984. 我国野生稻资源的普查与考察. 中国农业科学, 4: 27 – 34]

Ding Y, 1957. Origin and evolution of species of cultivated rice in China. *Acta Agricultura Sinica*, 8(3): 243 – 257. [丁颖, 1957. 中国栽培稻种的起源及其演变. 农业学报, 8(3): 243 – 257]

Feng GZ, Wan SQ, Pan DJ, Luo Q, Deng JC, 2004. Antifeedant activity of the extracts of six species of wild rice against *Spodoptera litura*. *Chinese Journal of Rice Science*, 18(4): 371 – 374. [冯国忠, 万树青, 潘大建, 罗倩, 邓建朝, 2004. 几种野生稻抽提物对斜纹夜蛾幼虫的拒食作用. 中国水稻科学, 18(4): 371 – 374]

Guibault GG (translated by Miao HN and Chen SG), 1983. Analytic Handbook of Enzyme. Shanghai: Shanghai Sci-Tech Press. 32 – 41. [Guibault GG (缪辉南, 陈石根译), 1983. 酶法分析手册. 上海:上海科学技术出版社. 32 – 41]

Mu LY, 1994. Investigative Method of Plant Chemical Protection. Beijing: China Agriculture Press. 67 – 71. [慕立义, 1994. 植物化学保护研究法. 北京:中国农业出版社. 67 – 71]

Northwest University of Agriculture, 1986. Experiment Handbook of Basic Biochemistry. Xi'an: Shaanxi Sci-Tech Press. 78 – 104. [西北农业大学, 1986. 基础生物化学实验指导. 西安:陕西科学技术出版社. 78 – 104]

Qin JD, 1987. Relationship of Insects and Plants. Beijing: Science Press. 39 – 170. [钦俊德, 1987. 昆虫与植物的关系. 北京:科学出版

社. 39－170]

Tan YJ，1993. Study on the resistance to yellow stem borer and brown planthopper in a common wild rice SB1. *Chinese Journal of Rice Science*，7(4)：246. [谭玉娟，1993. 一个普通野生稻资源对三化螟、褐稻虱的抗性研究. 中国水稻科学，7(4)：246]

Vaughan DA，1994. The Wild Relatives of Rice：A Genetic Resources Handbook. Los Banos，Philippines：IRRI.

Velusamy R，Kumar MG，Edward YSJT，1995. Mechanism of resistance to brown planthopper *Nilaparvata lugens* in wild rice (*Oryza* spp.) cultivars. *Entomologia Experimentalis et Applicata*，78(3)：245－251.

Wang CZ，Zhang QW，Yang QH，Zhou MZ，1993. Chemical basis of plant resistance to insect. *Plant Protection*，19(6)：39－41. [王琛柱，张青文，杨奇华，周明牂，1993. 植物抗虫性的化学基础. 植物保护，19(6)：39－41]

Wu MR，1990. Monographic Compilation of Wild Rice Resource. Beijing：China Science and Technology Press. 3－34. [吴妙燊，1990. 野生稻资源研究论文选编. 北京：中国科学技术出版社. 3－34]

Xiao HX，Zhang LY，2001. Study on resistance substance to *Nilaparvata lugens* from *Oryza minuta*. *Journal of South China Agricultural University*，22(4)：36－38. [肖汉祥，张良佑，2001. 小粒野生稻对褐稻虱抗性物质的研究. 华南农业大学学报，22(4)：36－38]

Yang DS，Zhang JT，2002. Effect of midgut cell and amylase on housefly larvae from toosendanin. *Acta Parasitologica et Medica Entomologica Sinica*，9(1)：39－43. [杨东升，张金桐，2002. 川楝素对家蝇幼虫中肠细胞及淀粉酶活性的影响. 寄生虫与医学昆虫学报，9(1)：39－43]

(责任编辑：黄玲巧)